

图像图形技术 研究与应用 (2010)

TUXIANG
TUXING

JISHU YANJIU YU YINGYONG

北京图像图形学学会 编



北京交通大学出版社
<http://press.bjtu.edu.cn>

内 容 简 介

本书通过展示和探讨计算机图像图形技术的最新发展,揭示了该项研究在当今能源、环境、交通、医疗、通信、信息等社会热点问题中不同角度的应用。书中集中了清华大学、中国科学院、北京理工大学、华北电力大学、中国传媒大学、青岛大学等图像图形学研究单位及相关技术企业最近一年来的优秀成果和部分应用实例。本书以交流为目的、注重应用,反映了计算机图像图形技术在中国的应用与发展,可供从事该专业的教师、科技工作者、工程技术人员和学生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

图像图形技术研究与应用. 2010/北京图像图形学学会编. —北京:北京交通大学出版社, 2010.4

ISBN 978-7-5121-0088-6

I. ①图… II. ①北… III. ①计算机图形学-学术会议-文集 IV. ①TP391.41-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第047420号

责任编辑:杨正泽 郭东青 韩素华 解 坤 赵彩云

出版发行:北京交通大学出版社 电话:010-51686414

北京市海淀区高粱桥斜街44号 邮编:100044

印刷者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印张:18.5 字数:462千字

版 次:2010年4月第1版 2010年4月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-5121-0088-6/TP·585

印 数:1~500册 定价:65.00元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。

投诉电话:010-51686043, 51686008; 传真:010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

编 委 会

主 编：阮秋琦 孙凤杰

副主编：王润生 陈朝武 王生进 周明全

编 委：马惠敏 刘 越 闫 珺 唐晓芳 刘春磊

目 录

图像预处理与图像增强

- 基于小波与非线性扩散的混合图像去噪 靳士利 赵志刚 /3
- 基于 PSO 和二维 OTSU 的图像模糊增强算法 杨镇潭 孙凤杰 范杰清 /8
- 一种基于光照分量校正的图像补偿方法 李锴 蔡利栋 /13
- 一种去除文本图像椒盐噪声的方法 张媛 蔡利栋 /18
- 信息融合的边缘保持图像滤波方法 韩军伟 陆俊 /24
- 噪声污染运动模糊图像点扩散函数估计 张旭明 熊有伦 尹周平 /29

图像分割

- 基于遗传微粒群算法的输电线路图像分割方法研究 田野 孙凤杰 /37
- 基于 TV 模型的多相图像分割变分水平集方法 李忠伟 潘振宽 倪明玖 /43
- Multiphase Piecewise Smooth Image Segmentation on Implicit Surface
Kai Xu Zhenkuan Pan Weibo Wei /51
- 分段光滑图像分割的 Split - Bregman 方法 张娜 潘振宽 魏伟波 /59
- 一种基于非线性灰度变换的弱边缘检测方法 李钦弟 蔡利栋 /66
- 基于模糊熵方向特征的图像边缘检测方法 何春 陆俊 /72
- 基于灰度加权阈值和形态学的锅炉火焰边缘检测 韩晓菊 张国杰 沈继忱 /77

目标识别与跟踪

- 基于背景抑制和灰度形态学的弱小目标检测 董宇星 孙海江 刘伟宁 /83
- 基于卡尔曼滤波的 MultiTouch 跟踪算法的优化 祁彩萍 /87
- 基于 GPU 并行加速的改进分块 PCA 人脸识别算法 张雷刚 张勇东 张冬明 /92
- 基于正交匹配跟踪的多传感器图像融合 黄影 廖斌 /98
- 基于随机采样的协方差跟踪 张旭光 张云 董期林 /103

视频图像处理与图像压缩

- 多分类视频镜头边界检测策略 卢悦 孟祥增 /113
- 基于多目视觉的三维人体运动捕获和渲染 严骏驰 朱梦源 刘允才 /119

一种数学方法在电子稳像应用中的探索 彭健 汪佩 贾彦茹 /125
小位移变分光流计算的分裂方法 张楠 潘振宽 魏伟波 李媛媛 徐凯 /131
基于坡的时间规整快速影像匹配算法 吉大纯 李学军 侯金宝 /138
H. 264 解码器中运动矢量预测的硬件实现方案 杨伟彦 何晶 许信玉 /145

图像分析与图像检索

基于开源软件的医学图像分析处理研究 李伟 王涌天 杨建 刘越 /151
基于内容图像检索的特征融合技术研究 孙振权 肖诗斌 吕学强 施水才 /156
HSV 颜色空间及纹理特征映射方法研究 王兰莎 张国英 /162
基于图像线路板焊盘拟合及间距测量方法研究 杨淑云 李新 刘永春 /169
基于 SIFT 及射影变换的摄像机视野分界线恢复 杨俊 战荫伟 /174
靶向穿刺自动进针障碍物规避路径规划的研究 胡晓彤 曾超 /181
基于偏振图像融合的镜面反射分量分离 赵永强 宋琳 程永梅 /187
花岗岩铀矿热红外遥感信息提取技术研究 王俊虎 张杰林 赵英俊 /192
基于粗糙集理论和关联规则的腐蚀区域纹理特征检测算法研究 殷积东 刘博 王少辉 /200

数字电视与图像通信

一种改进 Arnold 变换的数字图像加密算法 马丁 /209
基于四叉树的广播加密算法 王育卿 张宜春 /214
基于 DCT 变换的大容量数字水印算法 王玉磊 林洪文 杨绍清 /220
基于概率分布的多描述标量量化方法改进 李艳 王翊 /225

计算机图形学与三维仿真

基于 CUDA 加速的光线投射法研究 叶良 单桂华 迟学斌 /235
基于正交图像的全自动三维头部重建 林源 王生进 丁晓青 /241
三维室内场景的地面布置图自动生成系统 宋海林 邱显杰 王兆其 /248
5·12 汶川地震的可视化与分析 郭建勇 刘俊 张鉴 迟学斌 /253
基于 OpenGL 的云建模及仿真研究 刘立峰 蔡世杰 马惠敏 /260
对“绘制—检出”栅格化方法的深入探讨 李青元 王涛 朱菊芳 孙立坚 张福浩 /265
隐式曲面上图像扩散的 Split-Bregman 算法 孙军 魏伟波 赵增芳 潘振宽 /272
多椭圆曲线拟合的一种新算法 华瑞娟 蔡利栋 /279
虚拟现实技术在城市轨道交通设计中的应用 魏英洪 /285

图像预处理与图像增强

基于小波与非线性扩散的混合图像去噪

靳士利¹ 赵志刚

(1 青岛大学信息工程学院, 山东青岛 266071)

摘 要 图像去噪对改善图像质量具有重要意义。小波变换由于具有多分辨率、能量集中等良好特性在图像去噪领域中得到了广泛的应用, 偏微分方程具有各向异性的特点, 在去除噪声的同时, 很好地保持边缘, 小波具有快速变换特性, 全变差模型能在去除噪声的同时, 很好地保留图像边缘, 但是该模型有时会将噪声当作边缘, 根据小波方法和偏微分方法的优点, 本文提出两种综合二者优点的混合去噪策略。

关键词 小波 偏微分方程 非线性扩散 去噪

Survey of a Hybrid Image Denoising Algorithm Based on Wavelet Shrinkage and Nonlinear Diffusion

Jin Shili¹, Zhao Zhigang

(1 College of Information Engineering, Qingdao University, Qingdao 266071, China)

Abstract It is important for improving the image quality. Wavelet transform is widely used in the area of image denoising because of the good property of multiresolution and energy compaction, The Anisotropic Diffusivity of partial differential equation completes denoising while as far as possible to keep the characteristic of image. Wavelet is quickly transformed. Total variation diffusion completes denoising while as far as possible to keep the details of image, but sometimes it makes mistake to regard noise as edge. According to both characteristics of denoising, mixed methods of combining wavelet with partial differential equation for image denoising are proposed.

Keywords wavelet, partial differential equation, non-linear diffusion, denoise

图像去噪是图像处理领域中的一个重要的研究课题, 小波方法和偏微分方程方法

是近年来发展起来的两种重要的去噪方法。小波变换由于具有多分辨率、能量集中度高

等良好特性在图像去噪领域中得到了广泛的应用, 偏微分方程方法能够在去除噪声的同时较好地保留图像的边缘, 是非常有效的去噪手段。吴亚东等分析了非线性扩散和二维 Haar 小波萎缩方法之间的等价关系, 并从本质上论证了非线性扩散方法优于 Haar 小波萎缩方法, 验证了非线性扩散方法在去噪效果上的优越性。^[1]两种方法在一定程度上都能达到去除噪声的目的, 但是它们采用了不同原理来分析两种方法的优点和缺点, 提出了综合二者的优点的具有良好性能的混合去噪方法。

1 非线性扩散去噪^[1]

非线性扩散从噪声图像出发, 根据一个非线性偏微分方程描述的过程, 经过多次迭代产生去噪后的图像, 模型根据图像梯度模实现有选择的扩散平滑, 边缘部分具有较大的梯度模值, 模型在此处进行较弱的平滑以保护边缘信息, 而在平滑区域进行较大的平滑以达到去除噪声的目的。

Perona 和 Malik 最先给出了一种基于偏微分方程模型的非线性扩散滤波方法,^[2]其主要思想是在滤波器自身中引入部分边缘检测步骤, 提出用非线性方程替换热力学方程:

$$\begin{aligned} u_t &= \operatorname{div}(c(x, y, t) \nabla u) \\ &= c(x, y, t) \Delta u + \nabla c \cdot \nabla u \end{aligned} \quad (1)$$

其中, $c(x, y, t)$ 为热传导因子。在式 (1) 中, 令 $c(x, y, t) = g(|\nabla u|)$, 扩散方程可写为:

$$\begin{aligned} u_t &= \nabla \cdot (g(|\nabla u|) \cdot \nabla u) \\ &= g(|\nabla u|) \cdot \Delta u + \Delta u \nabla g(|\nabla u|) \end{aligned} \quad (2)$$

其中, $\nabla u = (u_x, u_y)$, $\Delta u = u_{xx} + u_{yy}$ 。

若 $g(|\nabla u|) = 1/\sqrt{u_x^2 + u_y^2}$, 公式 (2) 便是由 Rudin 等提出的全变差 (TV) 扩散模型, 该模型能够在去除噪声的同时, 较好

地保留图像的边缘信息, 应用非常广泛。

2 小波与非线性扩散的混合去噪

非线性扩散方法根据噪声图像的梯度来判断边缘, 这种判断会受到噪声的影响而产生偏差, TV 扩散方法能在去除噪声的同时较好地保留图像的边缘, 但是并不能有效地区分边缘信息和噪声, 有时会将噪声当成边缘, 从而使恢复后的图像产生偏差, 所以应该在对图像扩散前进行去噪, 而小波变换由于具有能量集中、多分辨率、快速变换等特性, 在图像去噪领域中得到广泛的应用, 因此提出了在图像扩散前进行小波去噪的方法。

2.1 小波去噪方法

小波去噪方法的主要理论依据是小波变换特别是正交小波变换具有很强的去数据相关性, 它能够使得信号的能量在小波域集中在一些较大的小波系数中, 而噪声的能量分布在整个小波域内, 经过小波变换后, 幅值比较大的小波系数一般以信号为主, 而幅值比较小的系数在很大程度上是噪声。因此通过设定阈值, 对变换后的系数进行分类, 可以把幅值非常小的系数看成是噪声, 而幅值较大的系数看成是图像的特征部分, 对于非常小的噪声部分可以通过置零以排除噪声干扰, 对于幅值较大的系数, 可进行较小程度的去噪以保留图像的特征, 而对于介于两者之间的系数不予处理, 而是在 TV 扩散中进行较大程度的平滑。

大量研究表明通用阈值 λ 往往会“过扼杀”小波系数, 因此大于阈值 λ 的小波系数可以看成是表示图像特征的系数, 此处取大于阈值 $\lambda_1 = a_1 \lambda$ ($a_1 \in [1, 2]$) 的系数表示图像的特征信息。对于非常小的系数, 可以看成是噪声成分, 由于噪声随着分解尺

度的增加逐渐减少,因此采用自适应于尺度的阈值 λ_2 ,使噪声随着分解尺度的增加逐渐减小。

$$\lambda = \sigma \sqrt{2 \log N} \quad (3)$$

$$\lambda_2 = (5-j)/10 \times \lambda \quad (4)$$

其中, σ 为噪声方差, N 为图像大小, j 为当前分解尺度。

$$\sigma = \frac{\text{Median}(|Wf(x, y)|)}{0.6745}, \quad Wf(x, y) \in HH_1 \quad (5)$$

然而,在有些情况下大于 λ_1 的系数也有可能和噪声相关,因此需对此类系数进行进一步的检测,以减少噪声对图像特征信息的影响。根据小波系数的邻域相关性,即一个较大的小波系数,其邻域内的系数也比较大,而一个较小的系数,其邻域范围内的系数往往也较小,取以系数为中心的 $N \times N$ 的邻域窗口(此处取 3×3 的邻域窗口),检测其邻域范围,如果其邻域范围内有少于 $n(n < 2)$ 个系数大于阈值 λ_1 ,则认为该系数可能与噪声有关,此时采用自适应软阈值处理此类系数,例如公式(5)。

由于通用阈值 λ 的过扼杀性,在去噪过程往往扼杀大量的小波系数,根据概率论知识,零均值正态分布变量落在 $[-3\sigma, 3\sigma]$ 之外的概率非常小,与通用阈值 λ 相比能够取得更好的去噪效果。根据噪声随着尺度的增加而递减的规律,阈值的设定应依赖于尺度,使阈值随着尺度的增加而减少,即在尺度较小时,采用较大的阈值进行萎缩,尺度较大时,采用较小的阈值进行萎缩,因此对于平滑区域系数提出了如公式(7)所示的基于尺度的阈值:

$$\text{thr} = 3\sigma \times 2^{-(7+j)} \quad (6)$$

$$W\hat{f}(x, y) = \begin{cases} \text{sgn}(Wf(x, y))(|Wf(x, y)| - \text{thr}) & |Wf(x, y)| \geq \text{thr} \\ 0 & |Wf(x, y)| < \text{thr} \end{cases} \quad (7)$$

2.2 小波和 TV 扩散相结合的混合去噪

结合 TV 扩散在去除噪声过程中并不能有效区分信号和噪声的缺点,在对图像进行 TV 扩散前先进行小波去噪,为了便于寻找小波变换后邻域系数之间的关系,利用非抽样小波变换^[3]的冗余性寻找系数之间的关系。

基于小波和非线性扩散的混合去噪方法的基本步骤如下:

① 采用二维非抽样小波对含噪图像进行小波分解,选择合适的小波并确定小波分解层次,得到分解后系数 $Wf(x, y)$;

② 通过给出公式,计算阈值 λ 、 λ_1 、 λ_2 和 thr,对不同的系数进行不同的阈值处理;

③ 对处理后的系数进行非抽样小波逆变换,然后对图像进行 TV 扩散得到去噪后的图像。

3 仿真结果与分析

为了验证提出算法的有效性,采用 512×512 的标准灰度图像 Lena 作为实验对象,分别添加不同程度的均值为零的高斯白噪声,并采用 VisuShrink、BayesShrink、非抽样小波、TV 扩散方法与混合扩散方法进行比较,实验结果如图 1 所示。

由图 1 中可以看出,对于 Lena 图像,混合方法与 VisuShrink、BayesShrink、非抽样小波、TV 扩散方法相比视觉清晰度更为理想,较好地保留了羽毛处的纹理部分,提高了背景提取的精确度,体现了混合方法的优越性,提高了对图像中的细节信息提取精度,取得了良好的视觉效果,具有一定的适用性。

表 1 中给出了在不同的噪声等级,图像 Lena 采用不同去噪方法得到的图像的峰

值信噪比 PSNR (dB), 从表 1 中数据可以看出, 随着噪声等级的增加, 各种方法的峰值信噪比逐渐降低, 表明它们适用于噪声等级较低场合。在噪声等级较低的情形下, 例如噪声方差为 15 时, 混合方法尽

管优于 TV 扩散方法, 但是相差比较小, 随着噪声等级的增加, 混合方法的性能逐渐有较大幅度的提高, 与 TV 扩散方法相比, 增加的幅度逐渐递增, 进一步从数据上验证了混合方法的实用性和优越性。

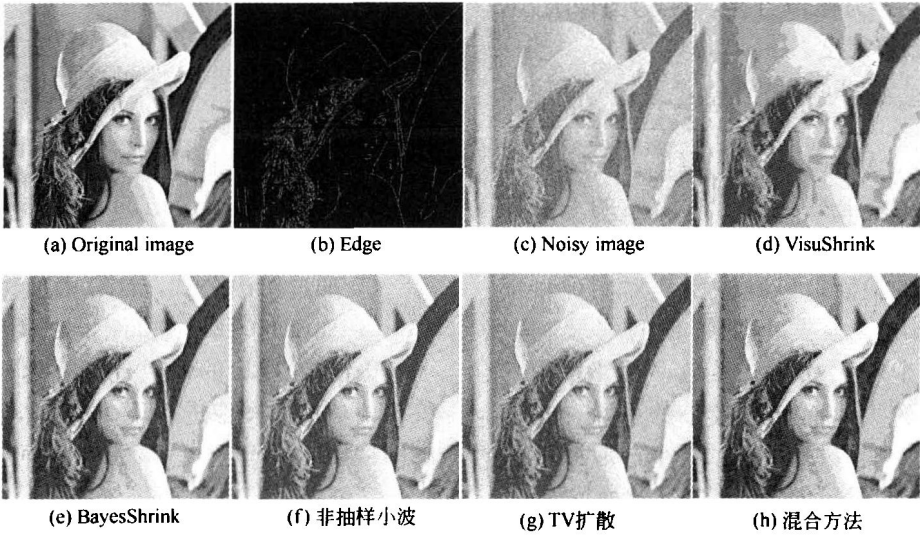


图 1 $\sigma = 30$ 时, 图像 Lena 的去噪结果

表 1 图像 Lena 去噪方法的 PSNR (dB)

噪声 (σ)	含噪图像	VisuShrink	BayesShrink	非抽样小波	TV 扩散	混合算法
15	24.611 5	29.213 8	31.280 0	31.919 3	32.026 4	32.082 9
20	22.112 7	28.077 3	30.121 3	30.085 3	30.607 7	31.312 4
25	20.174 5	27.160 9	29.144 0	28.575 9	28.954 6	30.478 4
30	18.590 9	26.429 5	28.397 8	27.291 3	27.154 5	29.591 7

4 总结

本文概述了小波和偏微分方法的去噪思想, 小波去噪方法由于其能量集中、快速变换和多分辨率特性得到广泛应用, 而非线性扩散方法能取得较好的去噪效果, 但由于采用迭代运算, 运算量比较大, 并且难以区分噪声和边缘, 针对二者的优点和缺点, 本文提出两种混合算法的去噪策略。

参考文献

[1] 吴亚东, 孙世新. 基于二维小波收缩与非线性

扩散的混合去噪算法. 电子学报, 2006, 34 (1): 163 - 166.
[2] PERONA P, MALIK J. Scale space and edge detection using anisotropic diffusion. IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1990, 12 (7): 629 - 639.
[3] DUAN R L. Image Denoising Method of Nonlinear Threshold - self - adjusting - based Wavelet. Journal of Optoelectronics • Laser, 2006, 17 (7): 871 - 874.
[4] DONOHO D L, Johnstone I M. Ideal Spatial Adaptation via Wavelet Shrinkage. Biometrika, 1994, 81 (3): 425 - 435.
[5] CHANG S G. Adaptive Wavelet Thresholding

- for Image Denoising and Compression. IEEE Transaction On Image Processing, 2000, 9 (9): 1532 - 1546.
- [6] GNANADURA I D. Undecimated double density wavelet transform based speckle reduction in SAR images. Computers and Electrical Engineering, 2009, 35: 209 - 217.
- [7] RUDIN L. Nonlinear total variation based noise removal algorithms. PhysD, 1992, 60 (1 - 4): 259 - 268.
- [8] 高鑫. 基于小波变换和 PDE 模型噪声与模糊图像恢复 [D]. 北京: 北京师范大学信息科学与技术学院, 2001.
- [9] LI X, ORCHARD M T. Spatially adaptive image denoising under over-complete expansion. ICIP. 2000: 300 - 303.
- [10] STEVE D B. Denoising of multicomponent image using wavelet least-squares estimators. Image and Vision Compute, 2008, (26): 1038 - 1051.
- [11] CAI T T. Incorporating information on neighbouring coefficients into wavelet estimation. Sankhya, 2001, 63 (2): 127 - 148.
- [12] OLIVER S. Adaptive feature-preserving non-local denoising of static and time-varying range data. Computer - Aided Design, 2008, 40: 701 - 707.

基于 PSO 和二维 OTSU 的图像模糊增强算法

杨镇澥 孙凤杰 范杰清

(华北电力大学, 电气与工程学院, 北京 102206)

摘 要 该文研究了基于模糊集理论和二维最大类间方差的图像增强方法, 针对二维最大类间方差法求取阈值时存在的计算复杂、时间长、实时性差等问题, 提出了基于微粒群算法和二维最大类间方差的图像模糊增强算法。该方法可以准确、快速且自适应地增强图像目标物同时又抑制背景噪声。实验结果表明, 该算法简单易行且优于一些传统的方法, 能更好地满足远程视频监控系统对电力设备图像识别的需求, 有助于提高识别的准确率。

关键词 微粒群算法 模糊集 二维最大类间方差法 视频监控

Image Fuzzy Enhancement Algorithm Based on PSO and Two-dimensional OTSU

Yang Zhenhuan, Sun Fengjie, Fan Jieqing

(School of Electric and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

Abstract Image enhancement based on fuzzy set theory and two-dimensional OTSU method is studied in this paper, for the problems that the method is complex, time-consuming and lack of real-time during evaluating threshold, a two-dimensional OTSU method based on particle swarm optimization is presented. This method can be accurate, fast and adaptive to enhance the target in the picture and suppress background noise at the same time. The experiment results indicate that the algorithm is simple and better than some traditional methods, and can better meet the needs of electrical power equipment image recognition for remote video surveillance system, benefit to improve the recognition accuracy.

Keywords particle swarm optimization, fuzzy set, two-dimensional OTSU method, video surveillance

1 引言

目前,随着通信技术和数字图像处理技术的迅速发展,越来越多的电力企业将基于远程视频监控系统的图像识别技术引入到了电力设备的在线监测中^[1],以实时地了解电力设备的运行状态,保障电力供应的质量。然而,由于许多电力设备例如高压输电线路的视频监测图像往往易受到外界环境尤其是雪天等恶劣天气的影响,使得视频监控设备采集到的图像一般较暗,目标与背景对比度低,并往往含有噪声。质量严重降低的视频图像使得图像识别准确率大大减小,因而使得识别告警系统的误判、错判概率也显著增加。为了解决这一问题,本文提出了基于微粒群算法(PSO)和二维最大类间方差的图像模糊增强算法来增强图像。由于二维最大类方差算法(OTSU)是基于二维直方图的,它不仅考虑了图像的灰度信息,还考虑到邻域空间的相关信息,所以有较好的抗噪性,适合低对比度的图像^[2]。微粒群算法利用其快速搜寻最优解的能力有效地解决了二维最大类间方差法的高计算复杂度问题。实验结果表明,该算法无论是从鲁棒性还是时效性来分析都优于一般的增强算法,具有一定的实用性和推广性。

2 自适应模糊增强算法原理

假设一幅图像 X 的大小为 $M \times N$, 灰度等级为 L , 模糊增强算法首先将其映射为一个 $M \times N$ 的模糊矩阵,通过该矩阵图像将从空域转换到模糊域中,其映射方法可表示为:

$$X = \bigcup_{i=1}^M \bigcup_{j=1}^N \frac{u_{ij}}{Lx_{ij}} \quad (1)$$

其中, u_{ij}/x_{ij} 为图像 X 中像素点 $X(i, j)$ 的灰度值 x_{ij} 相对于某个特定的灰度级 L' 的

隶属度。隶属函数的选取方法很多,比如经典的 Pal 隶属度函数、标准 S 隶属度函数等。然而,大量的实验证明隶属度函数的选取形式对运算结果影响不大^[3],所以本文选取一种如式(2)所示的余弦隶属度函数,简单且运算量较低。

$$u_{ij} = F(x_{ij}) = (1 - \cos(\pi x_{ij}/255))/2 \quad (2)$$

然后,对求得的隶属度 u_{ij} 采用如式(3)的 S 函数进行增强处理,得到新的隶属度 u'_{ij} 。

$$u'_{ij} = F_1(u_{ij}) = \begin{cases} u_{ij}^2/u_{thr} & 0 \leq u_{ij} \leq u_{thr} \\ 1 - \frac{(1-u_{ij})^2}{1-u_{thr}} & u_{thr} \leq u_{ij} \leq 1 \end{cases} \quad (3)$$

其中, u_{thr} 是图像的目标和背景区域的最佳分割阈值 thr 的隶属度。最后通过式(4)将增强处理后的模糊域分布还原到空域中,即得到增强后的灰度 x'_{ij} 。

$$x'_{ij} = 255 \times \arccos(1 - 2u'_{ij})/\pi \quad (4)$$

当 $u_{ij} > u_{thr}$ 时,非线性变换的结果使 u'_{ij} 向 1 靠近,从而使得 x'_{ij} 向 $L-1$ 靠近;反之,当 $u_{ij} \leq u_{thr}$ 时,非线性变换的结果使 u'_{ij} 向 0 靠近,从而使得 x'_{ij} 向 1 靠近。即将图像灰度向分割阈值 thr 两侧进行拉伸,图像的对比度便得到了提高。

3 基于二维最大类间方差的图像最佳分割阈值求取原理

在上述的增强处理中,如何准确地求取图像目标和背景的分割阈值非常关键。常用的阈值分割方法有最大类间方差法(简称 OTSU 法)、最大熵法等。这些方法都是基于图像的灰度信息来计算阈值的。但是当图像的信噪比低,灰度差异不明显,目标面积较小的时候,这些方法就难以取得较好的分割效果。二维最大类间方差算法是基于二维直方图的,它不仅考虑了图像的灰度信息,还考虑了邻域空间的相关信息。因此与基于一维直方图的分割算法相比,二维最大类间方法算法具有更好的

分割精度和鲁棒性。

3.1 二维直方图

对于一幅大小为 $M \times N$, 灰度范围为 $0 \sim (L-1)$ 的灰度图像, 其二维直方图定义在一个 $L \times L$ 大小的正方形区域, 其横坐标表示图像中某点的灰度值, 纵坐标表示该点的邻域平均灰度, 如图 1 所示。直方图中任意一点的值定义为 p_{ij} , 它表示二元组 (i, j) 发生的频率。 p_{ij} 由式 (5) 确定:

$$p_{ij} = c_{ij} / (M \times N) \quad (5)$$

其中, c_{ij} 是 (i, j) 出现的频数, $0 \leq i, j \leq L-1$, $\sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} p_{ij} = 1$ 。

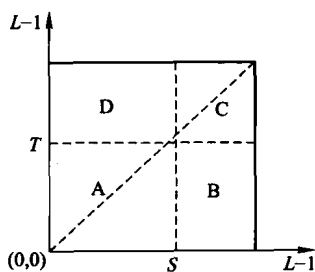


图 1 图像的二维直方图定义域

3.2 基于二维最大类间方差的图像最佳分割阈值

根据图 1 给出的二维直方图定义, 阈值 (S, T) 将图像的二维直方图分成了 4 个区域, 如图 1 所示。其中, 对角线上的区域 A 和 C 对应于背景和目标, 远离对角线的区域 B 和 D 代表可能的边缘和噪声^[4]。由于区域边界附近的像点及噪声像素点数与整幅图像的像点数比较, 数量很少, 因此可以假设在区域 B 和区域 D 上, 所有的 p_{ij} 之和为 0。当阈值为 (S, T) 时, 背景和目标间的距离测度函数为:

$$tr\sigma B(S, T) = [(W_0(S, T)u_{zi} - u_i(S, T))^2 + (W_1(S, T)u_{zj} - u_j(S, T))^2] /$$

$$[W_0(S, T)(1 - W_0(S, T))] \quad (6)$$

显然, $tr\sigma B(S, T)$ 只和 $u_i(S, T)$, $u_j(S, T)$, $W_0(S, T)$ 3 个量有关, 其中:

$$\begin{aligned} W_0(S, T) &= \sum_{i=0}^S \sum_{j=0}^T p_{ij}, \\ u_i(S, T) &= \sum_{i=0}^S \sum_{j=0}^T i p_{ij}, \\ u_j(S, T) &= \sum_{i=0}^S \sum_{j=0}^T j p_{ij} \end{aligned} \quad (7)$$

基于二维最大类间方差的图像最佳分割阈值 (S_0, T_0) 就取在 $tr\sigma B(S, T)$ 为最大时, 即:

$$\begin{aligned} tr\sigma B(S_0, T_0) &= \max\{tr\sigma B(S, T)\} \\ 0 &\leq S, T \leq L-1 \end{aligned} \quad (8)$$

用二维最大类间方差法来求取图像最佳分割阈值的效果虽然很好, 但它的计算量却非常大。对任意 (S, T) , 式 (7) 中 3 个变量 $W_0(S, T)$, $u_i(S, T)$, $u_j(S, T)$ 都要作累积求和, 且遍历全部 S 和 T , 计算复杂度大约为 $O(L^4)$, 耗时太长, 实用性差。

针对这些问题, 本文提出一种基于微粒群算法的二维 OTSU 图像最佳分割阈值求取算法, 利用微粒群算法快速搜索最优解的能力, 来提高运算速度, 且在效率上优于遗传算法等传统的快速搜索算法。

4 基于微粒群算法的二维最大类间方差法

微粒群算法 (Particle Swarm Optimization, PSO)^[5], 它是由 Kennedy 和 Eberhart 等于 1995 年提出的一种基于群智能的随机优化算法, 源于对鸟群捕食行为的研究。与遗传算法类似, PSO 是一种基于迭代的优化方法, 概念简单, 易于实现, 具有较强的全局收敛能力和鲁棒性。

由于二维最大类间方差法选取阈值过程实质上是一种寻求最优解的过程, 故可

利用微粒群算法所具有的快速寻优能力来求取最佳分割阈值。

算法的基本步骤如下。

① 初始化：设定种群规模 N 。由于需寻优 2 个参数，微粒的维数为 2，并初始化为 0~255 区间内的某个灰度值。同时，对速度进行初始设定，并设置算法的相关参数。

② 根据给定图像，计算图像的直方图 h_k 及其概率分布 p_k 。

③ 根据微粒寻优确定的参数 S , T ，利用式 (6) 计算背景和目标类间的距离测度值，即计算微粒群中每个微粒的适应值，并根据适应值选择每个微粒的当前最好位置 p_i 和微粒群的全局最好位置 p_g 。

④ 进行进化迭代。更新每个微粒的速度和位置，计算适应值。对每个微粒，将其适应值与所经历过的最好位置 p_i 的适应值进行比较，若较好，则将其作为当前的最好位置；对每个微粒，将其适应值与全局所经历的最好位置 p_g 的适应值进行比较，若较好，则将其作为当前的全局最好位置。

⑤ 若达到停止条件，则算法结束，全局最优解 p_g 对应的解即为最终要寻优的参数组合 (S, T) ；否则，转步骤③。

⑥ 后处理：实际中，微粒群算法寻找到的解可能是准最优解（与最优解相差 10% 左右），故设定一个波动阈值 $e = 25$ ，在微粒群算法寻找到的阈值 (S, T) 的基础上，再在 $[(S-e, T-e), (S+e, T+e)]$ 范围内进行一次二维 OTSU 的计算（局部搜索），以求得最终阈值。

5 实验结果及分析

本文算法的处理对象为一幅 Lena 图像图 2 (a) 和一幅输电线覆冰图像图 3 (a)，灰度等级为 256。算法的种群规模 N 为 10，最大迭代次数 $iter_{\max} = 50$ ，惯性权重系数

$w_{\max} = 1.3$, $w_{\min} = 0.9$ ，学习因子 $c_1 = c_2 = 1.53$ 。算法用 VC++6.0 编写，并在 Inter Pentium 4 processor 1.60 GHz、内存 1.0 GB 的计算机上实现。

图 2 (b) 和图 3 (b) 分别是图 2 (a) 和图 3 (a) 采用直方图均衡化处理后得到的图像，图 2 (c) 和图 3 (c) 是采用本文提出的算法经过 3 次增强处理后得到的图像。从实验结果分析来看，由于图 2 (a) 中含有噪声，经过直方图均衡化后，图像背景的噪声被严重放大，如图 2 (b) 所示。经过本文的算法处理后，得到图像的最佳分割阈值为 (149, 152)，经过 S 函数非线性拉伸后，图像的对比度得到了明显的加强，且噪声放大现象也抑制得很好，输电线的轮廓细节也明显地突出出来，如图 2 (c) 所示。当图像不含有明显的噪声时，本文的算法和直方图均衡化相比也能得到更好的增强效果，如图 3 (b) 和图 3 (c) 所示。

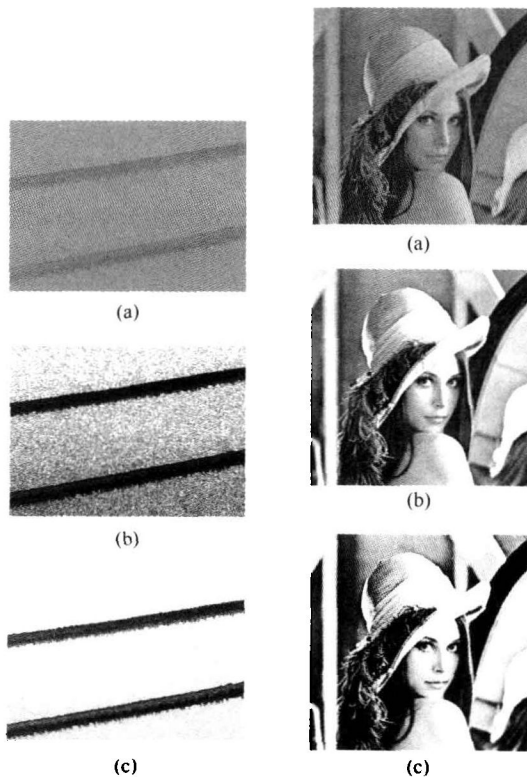


图 2

图 3

为比较算法性能, 本文使用传统的遗传算法进行了分割阈值的求取, 同样地设置最大迭代次数 $iter_{\max} = 50$, 交叉概率 0.7, 变异概率为 0.15。将遗传算法和本文算法分别进行了 20 次独立实验, 微粒群算法的平均运行时间约为 1.5 秒, 遗传算法的运行时间约为 9 秒, 且微粒群算法 10 次运行确定的平均阈值比遗传算法更接近最佳值。这说明本文的算法的搜索精度, 运行效率均优于传统的遗传算法, 具有较好的实时性和鲁棒性。

6 结束语

本文将微粒群算法和二维最大类间方差算法相结合, 准确、快速且自适应地求取了图像的最佳分割阈值。并结合模糊集理论, 在模糊域中运用 S 函数对阈值两侧的像素点进行非线性拉伸, 达到既增强目标物又抑制背景噪声的目的。实验结果证

明, 该算法简单易行且优于一些传统的方法, 能更好地满足远程视频监控系统对图像识别的需求, 有助于提高识别的准确率。

参考文献

- [1] 孙凤杰, 崔维新, 张晋保. 远程数字监控与图像识别技术在电力系统中的应用. 电网技术, 2005, 29 (5): 81-84.
- [2] 刘建平. 二维最大类间方差和遗传算法在红外图像分割中的应用. 浙江理工大学学报, 2005, 22 (4): 377-379.
- [3] 唐良瑞, 孙东华. 基于模糊最大熵的红外图像增强算法. 计算机工程与应用, 2008, 44 (9): 200-201.
- [4] 赵凤, 范九伦. 一种结合二维 OTSU 法和模糊熵的图像分割方法. 计算机应用与研究, 2007, 24 (6): 189-191.
- [5] KENNEDY R. Eberthart Particle swarm optimization. Proc IEEE Int Conf on Neural Networks Perth, 1995: 1942-1948.